

새로운 통합된 2-in-1 변압기

강철하*, 이하석*, 유경중*, 박진성*, 김은수†, 김동희**, 이영수**
 전주대학교*, LG이노텍(주)**

A Novel Integrated 2-in-1 Transformer

C.H Kang*, H.S Lee*, K.J Yoo*, J.Y Park*, E.S Kim*†, D.H Kim**, Y.S Lee**
 JeonJu University*, LG Innotek**

1. 서론

최근에 고 효율, 반영구적인 수명, 친환경 등의 이유로 LED가 국제적으로 주목받고 있으며, LED 조명의 수요가 증가함에 따라 LED 조명시장이 확대되고 있다. 하지만 가장 큰 단점으로 가격이 부각되고 있으며 이를 해결하기 위한 연구가 계속되고 있다.^{[1] [2]} 이러한 추세에 따라서 더 작은 무게와 부피로 비용 및 경량화 측면에서 효과적인 결과를 얻어낼 수 있는 통합된 Magnetic Component Design 연구가 검토되고 있다.^[3]

본 논문에서는 150W급 LLP(LED Lighting Power)보드에 있어서 전원회로의 경량화와 단가저감을 위해 AC/DC 컨버터의 PFC 인덕터와 LLC 공진컨버터의 변압기를 하나의 코어로 통합한 2 in 1 변압기 및 보빈을 제안하였고, 시제품을 제작 실험을 통해 적용 가능성을 확인하였다.

2. 제안된 새로운 형상의 통합변압기

기존의 LED어댑터 전원공급 장치는 입력역률개선을 위한 PFC AC/DC 컨버터와 절연을 위한 LLC 공진컨버터로 구성되고, 그림 1에서처럼 개별 PFC 인덕터와 LLC 공진변압기를 사용한다. 이들 개별 Magnetic Component를 사용할 경우 코어의 개수는 인덕터를 위한 코어 상·하단 2개, 변압기를 위한 코어 상·하단 2개, 총 4개이며 보빈의 개수는 인덕터와 변압기에 각각 사용됨으로 총 2개의 부품이 사용되지만, 본 논문에서 제안된 통합 2 in 1 변압기는 그림 2와 같이 PFC 인덕터와 LLC 공진변압기에 사용된 코어를 하나의 통합된 코어를 적용함으로써 코어와 보빈의 개수를 저감할 수 있고, 집적화 및 제품단가 저감이 가능하다. 또한 PFC 인덕터와 LLC 공진변압기 코어 중간자로(Ae1, Ae2)의 공극을 각각 개별적으로 적용하여 하나의 코어 관리만을 통해 통합 2 in 1 변압기를 제작할 수 있다.^[4]

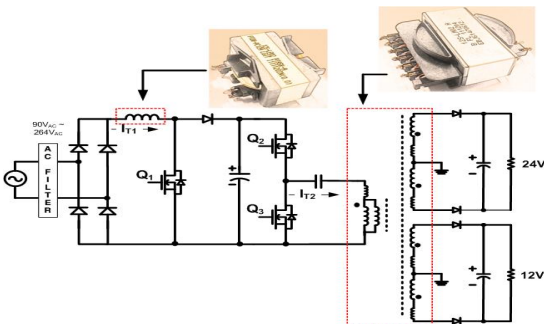


그림 1. 개별 인덕터와 변압기적용 전원장치 주회로

그림 3은 본 논문에서 적용된 새로운 통합 코어형상으로 PFC 인덕터 권선과 LLC 공진컨버터의 1,2차측 권선이 각각 중간자로(Ae1, Ae2)에 감기게 됨으로 PFC 단과 LLC단에서 생성된 자속이 일부 중첩되어 상호간에 영향을 끼치게 될 경우 출력리플 및 공진

전류에 발진 등 전체적인 시스템 불안정동작을 야기 시킨다.

제안된 통합 2 in 1 변압기는 PFC단과 LLC단을 평행으로 배치하고 각각의 자속이 상호 커플링 되지 않고 여러 경로를 통해 Bypass 될 수 있도록 자속경로를 제공할 수 있는 코어형상을 제작함으로써 PFC단에서 생성된 자속이 LLC단에 끼치는 상호자속커플링(Mutual Magnetic Coupling) 영향을 최소화하도록 통합 2 in 1 변압기를 제작 실험하였다.

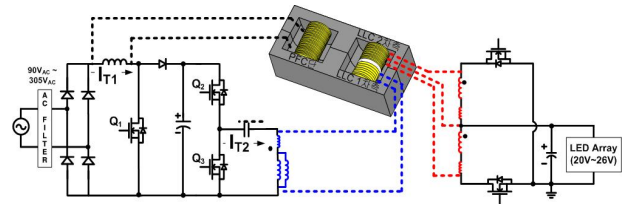


그림 2. 제안된 통합변압기 적용 LLP PSU (Power Supply Unit)

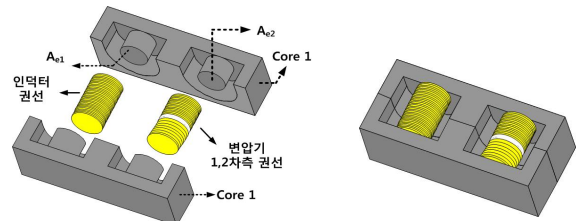
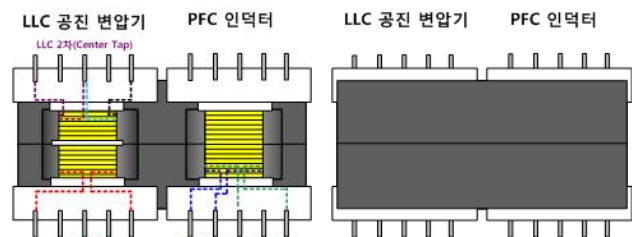


그림 3. 새로운 통합 코어 적용 2-in-1 변압기

그림 4는 제안된 통합 코어에 적용 가능한 보빈형상이다. 그림 4의 (a)의 적색권선은 LLC 공진컨버터의 1차측 권선을 나타내고 보라색 권선과 파란색 권선은 LLC 공진컨버터의 2차측 권선을 나타내며 Center tap 구조이다. 파란색 점선은 PFC 인덕터의 주 권선을 나타내고 담록색은 CRM(Critical Conduction Mode) PFC 컨버터의 ZCD(Zero Current Detecting)를 위한 보조 인덕터 권선을 나타낸다. PFC 인덕터 권선과 LLC 공진컨버터의 1차측 권선이 같은 방향에 있기 때문에 PCB Layout 설계에도 용이하며, 컨버터의 1차측과 2차측의 절연간격도 유지할 수 있다. 또한 LLC 공진컨버터와 PFC 인덕터에 개별보빈이 사용되기 때문에 자동화 공정에도 적합하다.



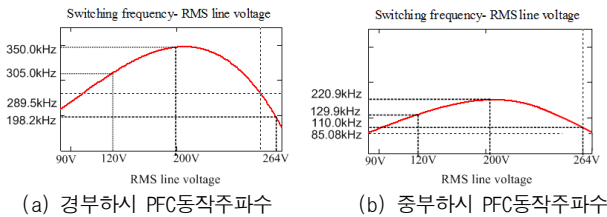
(a) Bottom View

(b) Top View

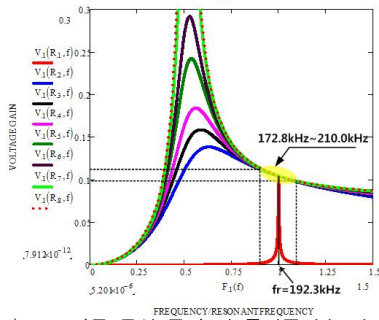
그림 4. 새로운 통합변압기 적용 제안된 보빈형상

4. 통합 코아적용 2-in-1 변압기 설계

본 논문에서 통합 2 in 1 변압기의 PFC 컨버터단은 CRM(Critical Conduction Mode)으로 설계하였다. CRM PFC 컨버터는 그림 5 (a),(b)와 같이 입력전압과 부하변화에 따라 동작주파수 및 듀티가 가변된다. PFC의 인덕턴스 값은 최소 동작주파수에 의해 결정되는데 최소 동작주파수를 너무 높은 스위칭 동작주파수로 설정할 경우에 스위칭 손실 등이 발생할 수 있고, 너무 낮게 설정할 경우에는 인덕터 사이즈와 EMI 필터사이즈가 증가될 수 있기 때문에 설계 시 최적의 주파수설정이 필요하다. 본 논문에서는 입력조건 90Vac~264Vac에서 출력전압 440V_{DC}로 최소 동작주파수는 40kHz에서 인덕턴스 값을 계산하여 설계하였다. LLC 공진컨버터의 경우는 PFC 컨버터와 LLC 공진컨버터가 정수배가 될 경우에 LLC단 중간자모(A_{ci})에 PFC단 자속이 일부 커플링 되어 LLC 공진전류에 DC offset되고 발진현상이 발생하게 된다. 하지만 PFC 인덕터의 자속이 LLC 공진변압기에 영향을 주기 위해서는 PFC 인덕터의 기자력이 강해야한다. 따라서 경부하 조건에서 LLC 공진전류의 발진현상은 발생되기 힘들며 중부하로 변화될수록 PFC 인덕터의 기자력이 커지기 때문에 발진현상이 발생되기 쉽다. 그림 5 (a)를 보면 경부하시 PFC 컨버터의 스위칭 동작주파수는 증가되고 중부하에서 스위칭 동작주파수는 그림 5 (b)과 같이 감소하게 된다. 따라서 중부하에서의 스위칭 동작주파수가 서로 겹쳐지지 않게 하기 위해서는 LLC 공진변압기의 공진주파수를 높게 설정하여 그림 5 (c)와 같은 스위칭 동작주파수 범위를 갖도록 LLC 공진컨버터를 설계하여야한다.



(a) 경부하시 PFC동작주파수 (b) 중부하시 PFC동작주파수



(c) LLC 이득 특성 곡선 및 동작주파수 범위

그림 5. 통합 2-in-1 변압기 PFC 동작주파수 및 LLC 이득특성 곡선

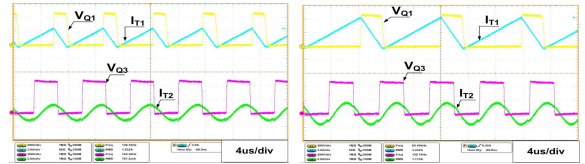
3. 실험결과

본 논문에서 150W 정격출력용량을 갖는 LLP(LED Lighting Power)보드에 PFC 인덕터와 LLC공진변압기를 하나의 코아로 통합한 2 in 1 변압기를 제작, 적용하여 입력전압 90VAC~264VAC조건 및 최대 정격 출력용량 150W내에서 Dimming제어를 통해 10%~100%부하변화로 실험하였다.

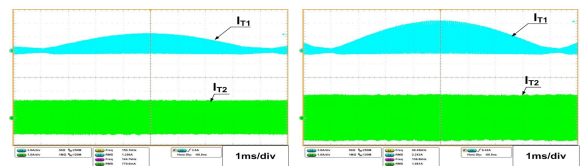
그림 6은 입력전압 90Vac, 200Vac 출력용량 75W, 150W 조건에서 제안된 통합변압기를 사용하여 실험한 파형이다. 실험결과 제안된 통합변압기 사용시 PFC단과 LLC단과의 상호 간섭없는 안정된 동작특성을 볼 수 있다.

표. 2 측정된 변압기 파라미터

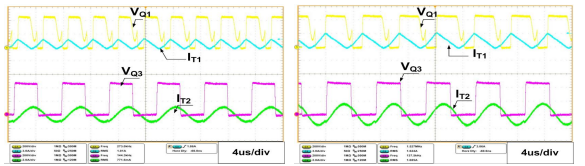
| | | | |
|------------|-----------|-----------|---------|
| LLC 공진 컨버터 | 1차측자기인덕턴스 | L_p | 556.5uH |
| | 2차측자기인덕턴스 | L_s | 4.427uH |
| | 등가누설인덕턴스 | L_{eq} | 145.8uH |
| PFC | 인덕턴스 | L | 154uH |
| | 턴수 | N | 47T |
| 적용코아 | | H5AEP20-Z | |



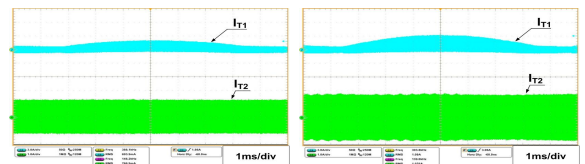
(a) 입력 90V_{AC}, 출력용량 75W (b) 입력 90V_{AC}, 출력용량 150W (Ch1:200V/div., Ch2:3A/div., Ch3:200V/div., Ch4:2A/div., 14us/div.)



(c) 입력 90V_{AC}, 출력용량 75W (d) 입력 90V_{AC}, 출력용량 150W (Ch2:3A/div., Ch4:1A/div., 1ms/div.)



(e) 입력 200V_{AC}, 출력용량 75W (f) 입력 200V_{AC}, 출력용량 150W (Ch1:200V/div., Ch2:3A/div., Ch3:200V/div., Ch4:2A/div., 14us/div.)



(g) 입력 200V_{AC}, 출력용량 75W (h) 입력 200V_{AC}, 출력용량 150W (Ch2:3A/div., Ch4:1A/div., 1ms/div.)

그림 6. 새로운 통합 변압기 적용시 주요파형

4. 결론

본 논문에서는 새로운 통합변압기를 제안하여 PFC 인덕터와 LLC 공진변압기를 통합 하였고, PCB Layout 설계에 적합한 보빈 형상을 제안하였으며, 150W급 LLP(LED Lighting Power)보드에 적용하여 실험하여 적용 가능성을 검토하였고 각각의 PFC 인덕터와 LLC 공진 변압기에 적용된 각각의 트랜스포머를 하나의 트랜스포머로 통합함으로써 비용저감과 경량화를 가능하게 하였다.

이 논문은 LG이노텍(주)와 전주대 산학협력 연구과제의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고문헌

- [1] 임상규, 김대호, 장일순, 김유진, 강태규 “LED 조명과 결합된 가시광 무선통신 기술 동향” 전자통신동향분석, 제 25권 제4호, 2010. 08, pp 38 47.
- [2] 노영재, 권주일, 김은수, 원종섭, 김동희, “통합된 PFC 인덕터와 LLC 공진변압기 적용 PSU” 2013년 전력전자학술대회 논문집, pp.7 8, 2013
- [3] 김은수, 이영수, 김동희 “통합변압기”, 특허출원 2013. 11.